

531, 674

10/531674
Rec'd PTO 15 APR 2005(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
29 avril 2004 (29.04.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/036753 A1(51) Classification internationale des brevets⁷ : H03L 7/08(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2003/003064(22) Date de dépôt international :
17 octobre 2003 (17.10.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
02/12900 17 octobre 2002 (17.10.2002) FR(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : STMI-
CROELECTRONICS, S.A. [FR/FR]; 29, boulevard Ro-
main Rolland, F-92120 Montrouge (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : BROSSIER,
Jean-Marc [FR/FR]; 11, rue Antoine Polotti, F-38400
Saint Martin d'Hères (FR).(74) Mandataire : SCHUFFENECKER, Thierry; Cabinet
Thierry SCHUFFENECKER, 97, chemin de Cassiopée,
Domaine de l'étoile, F-06610 La Gaude (FR).(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,
MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC,SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE,
LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet
eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

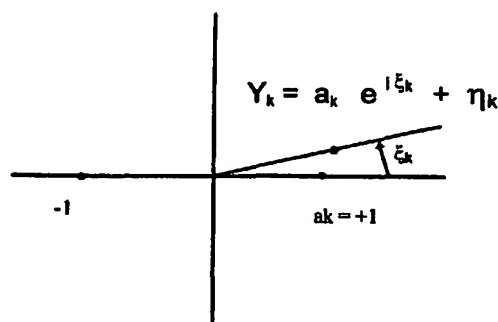
— relative au droit du déposant de demander et d'obtenir un
brevet (règle 4.17.ii)) pour les désignations suivantes AE,
AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,
PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW, brevet
ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT,
RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale
— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des
revendications, sera republiée si des modifications sont re-
çues

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: PHASE ESTIMATION METHOD IN A DIGITAL AND PHASE LOCKED LOOP COMMUNICATION SYSTEM

(54) Titre : PROCEDE D'ESTIMATION DE LA PHASE DANS UN SYSTEME DE COMMUNICATION NUMERIQUE ET
BOUCLE A VERROUILLAGE DE PHASE(57) Abstract: The invention concerns a phase estimation method in a dig-
ital transmission system comprising the following steps: receiving and stor-
ing an observation block Y_k ; executing at least one phase locked loop on
a predetermined sequence of observations extracted from said block. Each
phase locked loop provides an intermediate value whereof the combination
enables a fine-tuned phase estimation to be obtained. The method enables
production of an improved phase estimator based on the simple nature of
the phase locked loops.(57) Abrégé : Un procédé d'estimation d'une phase dans un système de
transmission numérique comportant les étapes suivantes : - réception et
mémoire d'un bloc d'observations Y_k ; - exécution d'au moins une
boucle à verrouillage de phase sur une séquence prédéterminée d'observa-tions extraites dudit bloc. Chaque boucle de phase fournit une valeur intermédiaire, dont la combinaison permet de fournir une
estimation affinée de la phase. Le procédé permet la réalisation d'un estimateur de phase amélioré basé sur la simplicité des boucles
à verrouillage de phase.

WO 2004/036753 A1



En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Procédé d'estimation de la phase dans un système de communication numérique et boucle à verrouillage de phase

5

Domaine technique de l'invention

La présente invention concerne le domaine des communications numériques et notamment un procédé d'estimation de la phase dans un système de communication numérique et une boucle à verrouillage de phase.

Etat de la technique

15

Dans un système de communication numérique comportant un émetteur et un récepteur, le signal numérique à transmettre – en général une suite de symboles – est converti avant transmission sous la forme d'un signal analogique à temps continu qui est alors transmis par un milieu de propagation physique, l'air ou tout autre milieu physique de propagation. Lorsque le signal est reçu par le récepteur, il est alors traité et converti sous une forme numérique au moyen d'un échantillonnage approprié, lequel intervient en général à une fréquence f_e que l'on cherche en général à rendre synchrone par rapport à la fréquence f_s à l'émission des symboles. Malheureusement les horloges se trouvant dans les circuits oscillateurs équipant l'émetteur et le récepteur ne sont jamais synchrones et il faut alors compenser toute dérive en fréquence entre ces horloges de manière à pouvoir traiter convenablement le signal reçu et en extraire les symboles émis.

30

Cette dérive en fréquence affectant les oscillateurs à l'émission et à la réception engendre un déphasage parasite sur les observations du signal en sortie du démodulateur complexe situé dans le récepteur. D'autres facteurs contribuent à accentuer ce déphasage parasite. En premier lieu, on peut citer le temps que prend

le signal numérique pour traverser le milieu de propagation. En second lieu tout mouvement de l'émetteur par rapport au récepteur est source d'effet Doppler et tend, lui également, à introduire un déphasage perturbateur.

5 En se référant au modèle en bande de base, les observations Y_k en sortie du démodulateur complexe situé dans le récepteur peuvent être exprimées par la formule suivante: sur:

$$Y_k = a_k e^{i\xi_k} + \eta_k$$

10

Avec a_k correspondant aux symboles émis, ξ_k étant le déphasage parasite et η_k étant un bruit supplémentaire.

Des techniques sont déjà connues - basées sur des circuits estimateurs de
15 phase - pour estimer ce déphasage parasite ξ_k et permettre sa correction.

Les estimateurs de phase les plus sophistiqués, qui traitent simultanément des pans entiers d'observations reçues s'appuient sur des traitements numériques extrêmement lourds: le filtrage particulière, les méthodes de Monte-Carlo par
20 chaîne de Markov etc... En pratique, de telles techniques s'avèrent irréalisables à mettre en œuvre sur un plan pratique en raison de la puissance de calcul considérable devant être mises en jeu.

Pour cette raison, on oppose à la complexité de ces estimateurs de phase la
25 simplicité de mise en œuvre des boucles à verrouillage de phase qui traitent séquentiellement les observations reçues les unes après les autres et non par pans entiers d'observations reçues. Classiquement une boucle à verrouillage de phase est basée sur un algorithme numérique itératif permettant d'approcher une valeur estimée de la phase. Si traditionnellement, les boucles à verrouillage de phase sont
30 réalisées au moyen de circuits analogiques, le même traitement est aujourd'hui entièrement numérique. Il est à noter que ce traitement numérique dépend étroitement du type de modulation envisagée.

A titre d'exemple, considérons le cas d'une modulation à déplacement de phase à deux états (MDP2), connue dans la littérature anglo-saxonne sous l'appellation *Binary Phase Shift Keying BPSK*. Dans cette modulation MDP2 ou BPSK, les symboles a_k qui sont transmis sont égaux à -1 ou $+1$. Du fait du déphasage parasite évoqué précédemment, on n'obtient plus -1 et $+1$ en sortie du démodulateur complexe, mais ces mêmes valeurs affectées d'un déphasage. Une boucle à verrouillage de phase bien connue pour prendre en charge la correction de ce déphasage est la boucle dite de COSTAS qui prend appui sur l'utilisation d'un algorithme du gradient associé à une fonction de coût J donnée par la formule :

$$J(\varphi) = E(|y_k^2 e^{-i2\varphi} - 1|^2)$$

Dans laquelle E étant l'opérateur Espérance mathématique.

L'application de l'algorithme du gradient à la variable φ permet de faire converger l'algorithme vers la phase estimée :

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} - \gamma \partial J(\varphi) / \partial \varphi \big|_{\varphi = \varphi_{k-1}}$$

La boucle de Costas est finalement obtenue en supprimant l'espérance mathématique : c'est l'algorithme du gradient stochastique pour minimiser la fonction de coût J .

On connaît d'autres formules pour d'autres types de modulation et notamment la modulation en quadrature, également dénommée Quadrature Amplitude Modulation à quatre états ou 4-QAM. D'une manière générale, quelle que soit le type de modulation employé, les boucles de verrouillages de phase sont construites sur une formule générale du type :

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} - \gamma F(Y_k, \varphi_{k-1})$$

avec F étant une fonction dépendant étroitement de la modulation considérée.

Typiquement, comme on le voit sur la formule précédente, toutes les boucles consistent à calculer la phase φ_k en fonction de l'élément précédent φ_{k-1} et d'une fonction F des deux éléments Y_k et φ_{k-1} . Il est à noter que, dans cette formule, en fonction du type de déphasage à corriger, on peut avoir recours à une correction
5 sophistiquée au niveau du paramètre γ et notamment prévoir la mise en œuvre d'un filtre correcteur du second ordre (proportionnel intégral), voire d'un ordre supérieur.

Toutes les boucles à verrouillage de phase connues – reprenant classiquement le modèle analogique traditionnellement connu - présentent une
10 même limitation. L'évaluation de la phase φ_k est essentiellement basée à partir de la valeur précédente φ_{k-1} et à partir d'une fonction d'une ou plusieurs observations passées. De ce fait l'estimation de la phase reste imparfaite et, par suite, sa correction.

15 Il convient d'améliorer le modèle de la boucle à verrouillage de phase afin d'accroître la précision de l'estimation et l'efficacité de la correction.

Exposé de l'invention

20

Un objet de l'invention est une nouvelle structure de boucle à verrouillage de phase permettant d'accroître la précision de l'estimation de la phase par rapport à une boucle classique. .

25

Un autre objet de l'invention consiste à proposer un procédé d'estimation de phase pour un récepteur numérique parfaitement adapté au traitement d'un signal numérique dans un récepteur doté d'un système de correction d'erreurs.

30

Selon l'invention, ces objets sont réalisés au moyen d'un procédé d'estimation de phase et d'un dispositif de boucle à verrouillage de phase.

L'invention **propose un** Procédé d'estimation d'une phase dans un système de communication numérique comportant les étapes suivantes :

- réception et mémorisation d'un bloc d'observations Y_k ;
- exécution d'au moins une boucle à verrouillage de phase sur une séquence prédéterminée d'observations extraites dudit bloc.

5 L'invention propose également un Dispositif de boucle à verrouillage de phase pour un récepteur numérique comportant :

- des moyens pour recevoir et stocker des observations par bloc ;
- une première boucle de verrouillage de phase permettant de générer une première valeur intermédiaire ;
- 10 - une seconde boucle de verrouillage de phase permettant de générer une seconde valeur intermédiaire ;
- des moyens pour dériver desdites première et seconde valeur intermédiaire une valeur estimée de la phase.

15

En réalisant un traitement par bloc au niveau de la boucle à verrouillage de phase – lequel traitement par bloc n'intervient classiquement qu'en aval, au niveau des codes correcteurs d'erreur, on améliore sensiblement l'estimation de la phase tout en conservant la grande simplicité de mise en œuvre des boucles
20 traditionnelles à verrouillage de phase.

On peut en particulier briser le lien chronologique entre les observations et l'algorithme itératif qui est mis en œuvre par la boucle à verrouillage de phase . L'invention consiste à rapprocher deux concepts a priori antinomiques, à savoir le
25 traitement par bloc et la boucle de phase. Dans l'approche classique, on conçoit la boucle de phase comme un traitement itératif, prenant appui sur les observations passées pour en dériver une estimation de la phase à un instant donné. La présente invention transgresse radicalement cette approche et réalise un procédé dans lequel, une fois un bloc d'observations mémorisées, l'estimation de la phase peut
30 être effectuée à partir d'une ou plusieurs boucles de phase opérant sur toute séquence quelconque d'observations au sein du même bloc.

De préférence, on réalise une première boucle à verrouillage de phase sur un premier ensemble d'observations dudit bloc et une seconde boucle à verrouillage de

phase sur une autre séquence d'observations extraites du même bloc. Le résultat de chacune des boucles est combiné pour fournir une estimation affinée de la phase à chaque instant d'échantillonnage.

5 Comme on le voit, en combinant le traitement par bloc et la simplicité des boucles à verrouillage de phase, on peut sensiblement améliorer la précision de l'estimation de phase et, par suite, la correction. En effet, le traitement par bloc permet en effet de tenir compte, pour le calcul de φ_k non seulement des observations antérieures mais également des observations postérieures au sein
10 d'un même bloc. La précision de la boucle de verrouillage de phase en est alors considérablement améliorée.

Bien que le procédé introduise un retard de traitement lié à la mémorisation d'un bloc complet d'observations avant l'estimation de la phase pour chacune des
15 observations Y_k considérées, ce retard n'est pas préjudiciable et est parfaitement adapté à l'usage de certains codes correcteurs d'erreurs, comme les turbos codes ou les *codes en blocs*.

Préférentiellement le traitement par bloc sera effectué au moyen d'une
20 première boucle de phase opérant dans le sens chronologique des observations, et d'une seconde boucle de phase opérant en sens inverse.

Dans un mode de réalisation préféré, la seconde boucle à verrouillage de phase est initialisée avec une valeur qui est celle fournie par la première boucle en
25 fin d'itération.

Description des dessins

30

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description et des dessins ci-après, donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs. Sur les dessins annexés :

La figure 1 illustre le schéma de principe du procédé d'estimation d'une phase selon l'invention.

La figure 2 illustre l'effet d'un déphasage pour une modulation BPSK.

5

La figure 3 illustre le mode de réalisation préféré basé sur l'emploi de deux boucles à verrouillage de phase opérant en sens contraire.

La figure 4 illustre l'application du procédé de la figure 1 à une modulation 4-PSK ou 4-QAM.

10

La figure 5 illustre l'application de l'invention à une modulation de type BPSK à deux états.

15

Description d'un mode de réalisation préféré

En relation avec la figure 1, on décrit à présent le procédé général d'estimation de la phase, lequel convient pour tout type de modulation, qu'il s'agisse d'une modulation BPSK, 4-QAM etc... . Le procédé comporte une première étape 11 au cours de laquelle un ensemble de $n+1$ observations (par hypothèse Y_0 à Y_n) en sortie du démodulateur complexe est réceptionné et mémorisé au sein d'un bloc de $n+1$ observations. Typiquement, on pourra envisager un bloc de 1000 à 10 000 observations et l'homme du métier choisira un nombre en fonction de l'application et du type de modulation envisagée.

25

Une fois la mémorisation du bloc effectuée, on réalise une première boucle à verrouillage de phase qui va opérer sur une séquence prédéterminée d'observations du bloc. Typiquement, on pourra considérer toute séquence quelconque et plus particulièrement une séquence chronologique d'observations Y_k , suivant l'ordre de réception des données. La réalisation concrète d'une boucle à verrouillage de phase ne pose aucune difficulté en soi et, pour des raisons de simplicité d'exposé, celle-ci ne sera pas développée plus avant. On se bornera à

30

dire que, en fonction du type de modulation utilisé, on mettra en œuvre un algorithme itératif suivant la formule générale rappelée précédemment.

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} - \gamma F(Y_k, \varphi_{k-1}) \text{ avec } k = 1 \text{ à } n$$

5

Dans une étape 12, on procède à l'initialisation de la première boucle à verrouillage de phase. Typiquement, cette initialisation permet de fixer les premières valeurs de l'algorithme itératif, et notamment la première valeur φ_0 . De préférence, lorsque la phase présente une continuité d'un bloc à l'autre, on initialisera d'une manière avantageuse la première boucle en prenant en considération la dernière valeur estimée au bloc précédent. Pour une boucle d'ordre supérieur à 1, plusieurs paramètres devront être fixés et, à nouveau, on pourra avantageusement tirer profit de toute continuité exploitable.

15

Dans une étape 13, on exécute la première boucle à verrouillage de phase de manière à construire la séquence $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 \dots, \varphi_n$, comme cela est illustré dans la figure 3 par la flèche allant de la gauche vers la droite.

Dans une étape 14, on initialise à présent une seconde boucle à verrouillage de phase allant dans le sens opposé à la première (représentée sur la figure 2 par la flèche dirigée de la droite vers la gauche). De préférence, on initialise la première valeur de la seconde boucle, à savoir φ'_n avec la dernière valeur numérique φ_n calculée par la première boucle à verrouillage de phase.

25

Dans une étape 15, on exécute la seconde boucle à verrouillage de phase de manière à construire la séquence $\varphi'_{n-1}, \varphi'_{n-2}, \varphi'_2, \varphi'_1 \dots, \varphi'_0$ calculée dans le sens inverse à précédemment.

30

$$\varphi'_k = \varphi'_{k+1} - \gamma F(Y_k, \varphi'_{k+1}) \text{ avec } k = n-1 \text{ à } 0$$

Dans une étape 16, on combine les résultats intermédiaires produits par la première et par la seconde boucle à verrouillage de phase de manière à produire la phase estimée φ''_k suivant la formule

$$\varphi''_k = G(\varphi_k, \varphi'_k)$$

dans laquelle la fonction G est adaptée au type de modulation considéré.

- 5 Dans un mode de réalisation particulier, on choisira G de manière à générer une somme pondérée sous la forme :

$$\varphi''_k = A \times \varphi_k + B \times \varphi'_k$$

- 10 De préférence, on pourra d'ailleurs choisir des coefficients variables A_k et B_k de manière à privilégier l'une des deux boucles à verrouillage de phase en fonction de k. En effet, on pourra avantageusement choisir les « poids » de la somme pondérée de manière à privilégier la première boucle dans la partie droite du bloc de la figure 2 et, inversement, ajouter plus de poids à la seconde boucle dans la
- 15 partie la plus à gauche du bloc. Ainsi, on privilégie toujours la boucle ayant effectué le plus d'itérations et pourra prétendre à une plus grande précision dans le calcul de la phase.

- En relation avec la figure 4, on décrit à présent l'application du procédé
- 20 général de la figure 1 à une modulation de type 4-BPSK ou 4-QAM. Dans une modulation de ce type, on transmet les symboles complexes a_k qui sont respectivement -1 , $+1$, $-i$ et $+i$. Le procédé débute par une étape 41 consistant, comme précédemment, en la réception et la mémorisation d'un bloc d'observations reçues du démodulateur complexe.

25

Dans une étape 42, on procède à l'initialisation de la première boucle à verrouillage de phase adaptée pour une modulation 4-QAM :

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} + \gamma \operatorname{Im}g(y_k^4 e^{-i4\varphi(k-1)})$$

30

dans laquelle IMG correspond à la partie imaginaire du nombre complexe.

Il est à noter que, en pratique, on pourra prévoir l'emploi d'un filtre numérique sophistiqué pour le calcul du facteur γ en fonction de modèle du déphasage que l'on souhaitera corriger. Pour des déphasages simples, on pourra s'accommoder d'un correcteur proportionnel simple alors que dans des cas plus complexes, on
 5 pourra avantageusement recourir à un correcteur intégral, voire à un filtre d'ordre supérieur.

Pour l'initialisation de la boucle à verrouillage de phase, on donnera la première valeur de φ_0 . De préférence, le filtre γ pourra être réalisé au moyen d'un
 10 filtre numérique d'un ordre 2, par exemple du second ordre suivant la formule ci-après :

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 / (1 + z^{-1})$$

15 et que l'on initialisera en tenant compte de tous les facteurs de continuité exploitables.

Dans une étape 43, on exécute la première boucle à verrouillage de phase de manière à construire toute la séquence $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 \dots, \varphi_n$.

20

Dans une étape 44, on initialise à présent une seconde boucle à verrouillage de phase de COSTAS avec la dernière valeur calculée par la première boucle et, dans une étape 45 on exécute cette boucle pour construire la séquence $\varphi'_{n-1}, \varphi'_{n-2}, \varphi'_{n-3}, \dots, \varphi'_0$ calculée dans le sens inverse à précédemment.

25

$$\varphi'_k = \varphi'_{k+1} + \gamma \operatorname{Im}g (y_k^4 e^{-i4\varphi(k+1)}) \quad k=n-1 \dots 0$$

Les deux résultats intermédiaires sont alors combinés dans une étape 46 de manière à générer l'estimation du déphasage φ''_k , de préférence suivant la formule

30

$$\varphi''_k = G(\varphi_k, \varphi'_k)$$

Dans une étape 47, le procédé achève le traitement du bloc courant.

Pour illustrer la généralité de l'invention, on va montrer à présent en référence à la figure 5 que l'invention peut contribuer à améliorer considérablement l'estimation de phase dans une modulation de type BPSK.

Le procédé démarre, une fois encore, par la réception et la mémorisation d'un bloc de d'observations Y_k dans une étape 51.

Dans une étape 52, on procède à l'initialisation de la première boucle à verrouillage de phase adaptée pour une modulation BPSK. D'une manière particulièrement avantageuse et nouvelle, on combine cette première boucle à verrouillage de phase avec l'exploitation d'informations statistiques portant sur les symboles a_k transmis dans cette modulation BPSK. On réalise à cet effet une boucle à verrouillage de phase suivant la formule :

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} + \gamma \operatorname{Img} \left(y_k e^{-i\varphi(k-1)} \operatorname{th} \left[L_k / 2 + 2/\sigma^2 \operatorname{Re}(y_k e^{-i\varphi(k-1)}) \right] \right)$$

dans laquelle:

20

th : étant l'opérateur tangeante hyperbolique,

Re: étant l'opérateur renvoyant la partie réelle d'un nombre complexe,

σ^2 : étant la variance du bruit;

25

$$\text{et } L_k = \operatorname{Ln} \left[p(a_k = 1) / p(a_k = -1) \right]$$

et Ln étant le logarithme népérien. $p(a_k = 1)$ est la probabilité pour que le symbole a_k soit égal à +1 et $p(a_k = -1)$ est la probabilité pour que le symbole a_k soit égal à -1,

30

Comme précédemment, on pourra prévoir l'emploi d'un filtre numérique du second ordre – voire d'un ordre supérieur – pour le facteur γ .

5 Dans une étape 53, on exécute la première boucle à verrouillage de phase de manière à construire la séquence $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 \dots, \varphi_n$.

Dans une étape 54, on initialise à présent une seconde boucle à verrouillage de phase construite comme précédemment, en tenant compte d'informations statistiques portant sur les symboles. avec la dernière valeur calculée par la première boucle et, dans une étape 55 on exécute cette boucle pour construire la séquence $\varphi'_n, \varphi'_{n-2}, \varphi'_2, \varphi'_1 \dots, \varphi'_0$ calculée dans le sens inverse à précédemment.

$$15 \quad \varphi_k = \varphi_{k+1} + \gamma \operatorname{Im}g \left(y_k e^{-i\varphi(k+1)} \operatorname{th} \left[L_k / 2 + 2/\sigma^2 \operatorname{Re}(y_k e^{-i\varphi(k+1)}) \right] \right)$$

Deux variantes de réalisation sont encore possibles. Si la puissance de bruit reste faible, on peut approximer la fonction tangente hyperbolique par la fonction signe. On obtient alors la formule suivante typique d'une boucle à remodulation (désignée sous l'appellation anglo-saxonne *decision feedback loop*) au terme additif $L_k / 2$ près.

On peut noter que, dans le cas contraire lorsque la puissance de bruit est importante, l'opérateur tangente hyperbolique peut s'approximer par la fonction identité et l'on retombe alors sur le formule d'une boucle de COSTAS (au terme additif $L_k / 2$ près).

Dans une étape 56, on combine les deux résultats intermédiaires obtenues des deux boucles à verrouillage de phase de manière à générer l'estimation du déphasage φ''_k , de préférence suivant la formule

$$\varphi''_k = G(\varphi_k, \varphi'_k)$$

Comme précédemment, le traitement du bloc courant s'achève dans une étape 57.

5

Les deux exemples précédents montrent que le procédé suivant l'invention s'applique à tout type de modulation et à tout type de boucle à verrouillage de phase. Il est clair que l'homme du métier pourra réaliser toutes les adaptations appropriées, voire même combiner avantageusement le traitement par bloc de la

10 boucle de phase réalisé très en amont avec tous les traitements ultérieurs réalisés en aval, qu'il s'agisse de traitement de codes correcteurs d'erreur, turbocodes etc...

Revendications

5 1. Procédé d'estimation d'une phase dans un système de communication numérique comportant les étapes suivantes :

- réception et mémorisation d'un bloc d'observations Y_k ;
 - exécution d'au moins une boucle à verrouillage de phase sur une séquence
- 10 prédéterminée d'observations extraites dudit bloc.

2. Procédé d'estimation d'une phase dans un système de transmission numérique selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comporte :

- 15 - exécution d'une première boucle de verrouillage de phase sur lesdites observations dans le but de générer une première valeur intermédiaire ;
 - exécution d'une seconde boucle de verrouillage de phase sur lesdites observations dans le but de générer une seconde valeur intermédiaire ;
 - combinaison desdites première et seconde valeur intermédiaire pour générer une
- 20 valeur estimée de la phase.

3. Procédé selon la revendication 2 caractérisé en ce que ladite première boucle est exécutée sur la séquence d'observations dans l'ordre chronologique d'apparitions, et en ce que la seconde séquence est exécutée sur la séquence inverse.

25 4. Procédé selon la revendication 3 caractérisé en ce que la seconde boucle à verrouillage de phase est initialisée à partir de la dernière valeur calculée par ladite première boucle à verrouillage de phase.

30 5. Procédé selon la revendication 4 caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- réception et mémorisation d'un bloc d'observations Y_k avec k variant de 0 à n ;

- initialisation d'une première boucle de phase à partir des observations Y_k reçues ;
- exécution de ladite première boucle de phase suivant une formule :

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} - \gamma F(Y_k, \varphi_{k-1}) \text{ avec } k = 1 \text{ à } n$$

5

avec F étant une fonction adaptée au type de modulation considérée

- initialisation d'une seconde boucle de phase à partir des observations Y_k avec k variant de n à 0 ;
- exécution de ladite seconde boucle à verrouillage de phase suivant une formule :

10

$$\varphi'_k = \varphi'_{k+1} - \gamma F(Y_k, \varphi'_{k+1}) \text{ avec } k = n-1 \text{ à } 0$$

- combinaison des résultats produits par lesdites première et seconde boucle de manière à générer une valeur estimée de la phase.

15

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que la modulation est de type BPSK avec une boucle à verrouillage de phase définie par

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} + \gamma \operatorname{Img} \left(y_k e^{-i\varphi(k-1)} \operatorname{th} \left[L_k / 2 + 2/\sigma^2 \operatorname{Re} (y_k e^{-i\varphi(k-1)}) \right] \right)$$

20

dans laquelle:

th : étant l'opérateur tangente hyperbolique,

25

Re : étant l'opérateur renvoyant la partie réelle d'un nombre complexe,

σ^2 : étant la variance du bruit;

$$\text{et } L_k = \operatorname{Ln} \left[p(a_k = 1) / p(a_k = -1) \right]$$

30

et Ln étant le logarithme népérien, $p(a_k = 1)$ la probabilité pour que le symbole a_k soit égale à $+1$ et $p(a_k = -1)$ la probabilité pour que le symbole a_k soit égale à -1 .

7. Procédé selon la revendication 6 caractérisé en ce que ledit facteur γ est réalisé au moyen d'un filtre numérique d'ordre 2 ou supérieur.

5 8. Dispositif de boucle à verrouillage de phase pour un récepteur numérique comportant :

- des moyens pour recevoir et stocker des observations par bloc ;
- une première boucle de verrouillage de phase permettant de générer une première valeur intermédiaire ;

10 - une seconde boucle de verrouillage de phase permettant de générer une seconde valeur intermédiaire ;

- des moyens pour dériver desdites première et seconde valeur intermédiaire une valeur estimée de la phase.

15 9. Dispositif de boucle à verrouillage de phase selon la revendication 8 caractérisé en ce que ladite première et seconde boucle à verrouillage de phase sont réalisées au moyen de la formule :

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} - \gamma F(Y_k, \varphi_{k-1}) \text{ avec } k = 1 \text{ à } n$$

ou

20 $\varphi_k = \varphi_{k+1} - \gamma F(Y_k, \varphi_{k+1}) \text{ avec } k = n-1 \text{ à } 0$

avec F étant une fonction adaptée au type de modulation considérée

25 10. Dispositif selon la revendication 9 caractérisé en ce que première valeur calculée par ladite seconde boucle est déterminée par le dernier calcul réalisé par la dite première boucle à verrouillage de phase.

1/4

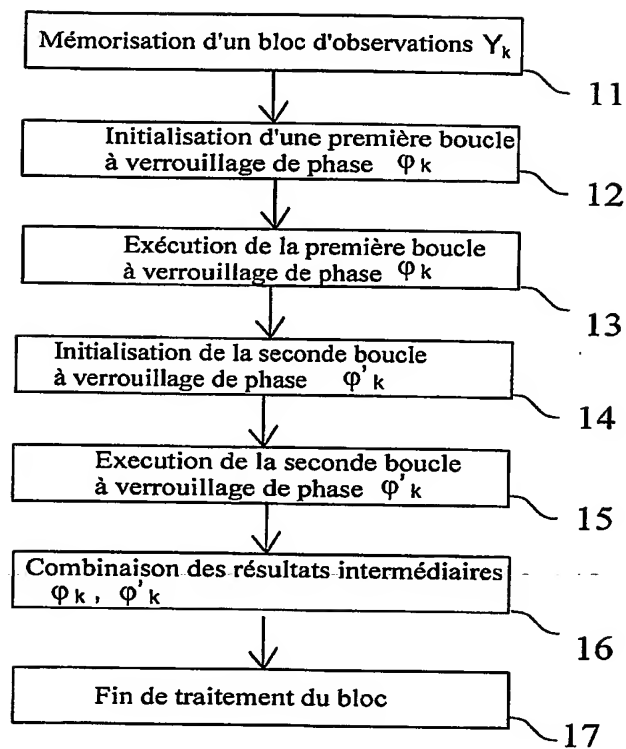


Fig.1

2/4

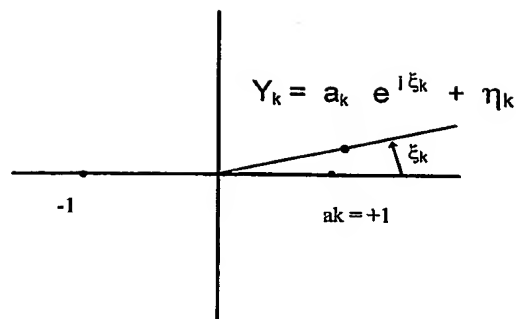


Fig. 2

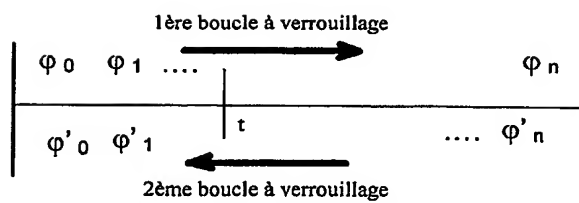


Fig. 3

3/4

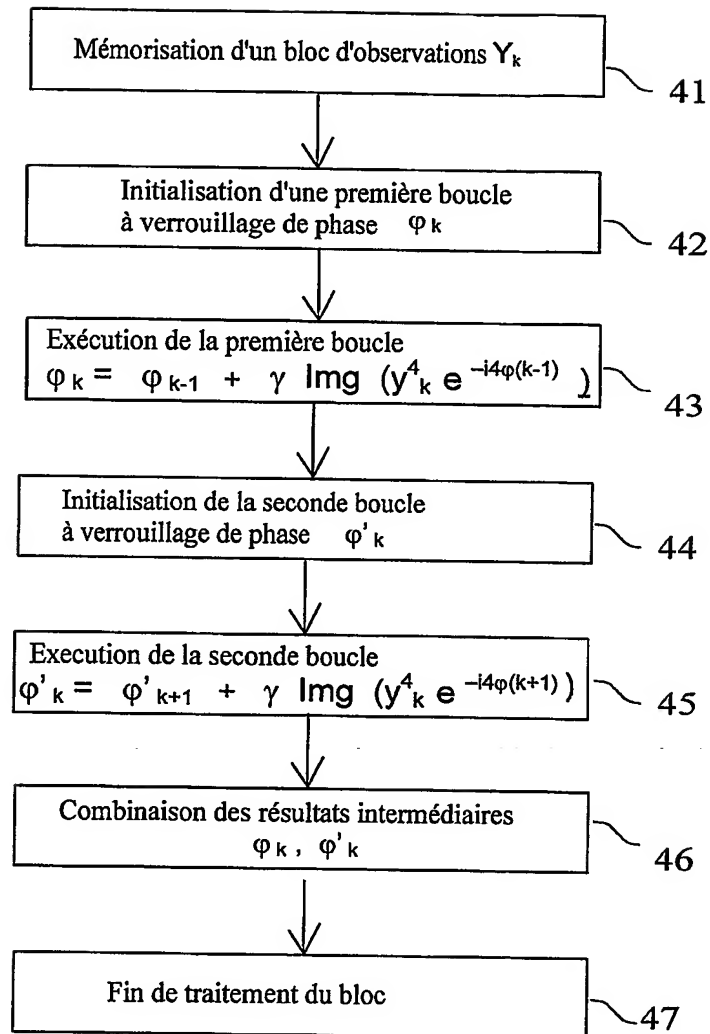


Fig. 4

4/4

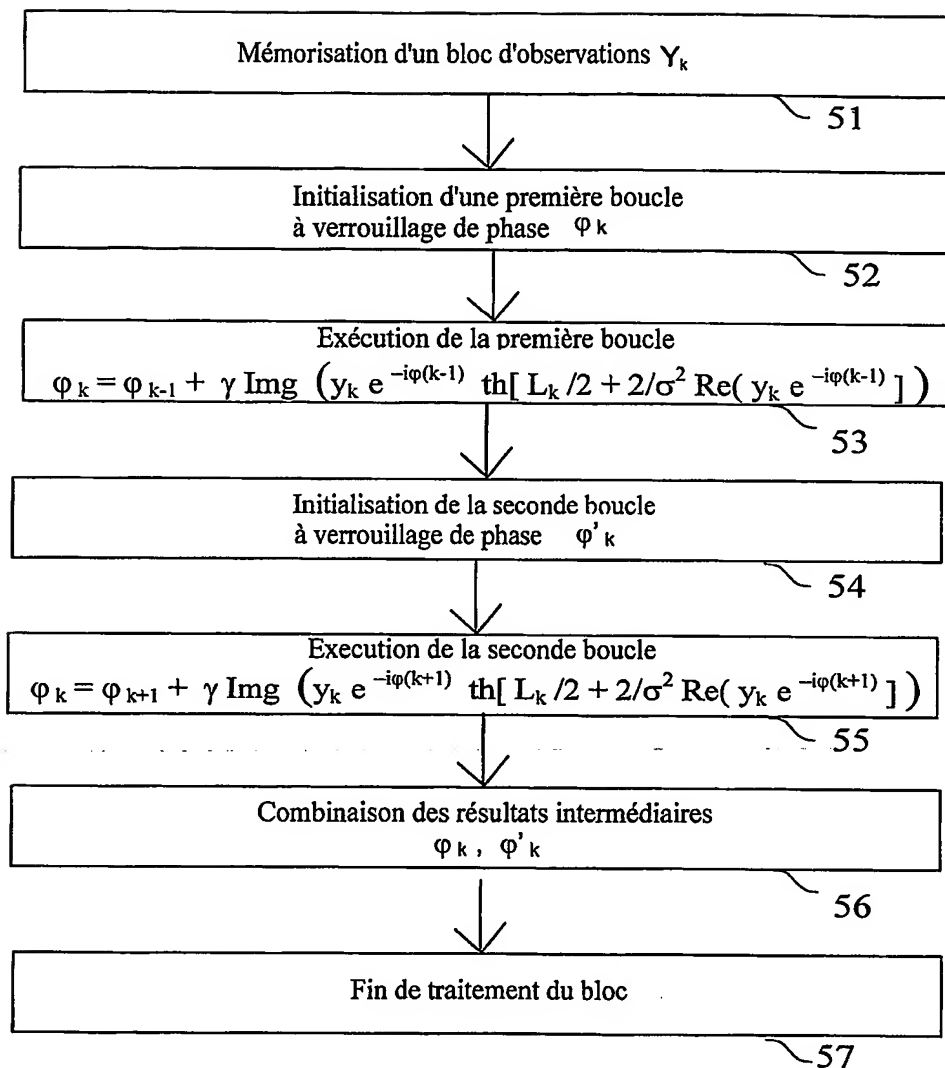


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/FR 03/03064

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H03L7/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H04L H03L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2001/043102 A1 (KUGE SHIGEHIO) 22 November 2001 (2001-11-22) page 1, left-hand column, paragraph 9 -right-hand column, paragraph 12; figure 43	1
X	US 4 849 991 A (ARNOLD HAMILTON W ET AL) 18 July 1989 (1989-07-18) column 2, line 35 - line 49 column 8, line 47 -column 9, line 53; figures 7,7A,7B	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 March 2004

Date of mailing of the international search report

23/03/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Helot, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern

cation No

PCT/FR 03/03064

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 2001043102	A1	22-11-2001	JP	2000132266 A	12-05-2000
US 4849991	A	18-07-1989	CA	1312389 C	05-01-1993

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dem:

ile No

PCT/FR 03/03064

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 7 H03L7/08

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H04L H03L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2001/043102 A1 (KUGE SHIGEHIO) 22 novembre 2001 (2001-11-22) page 1, colonne de gauche, alinéa 9 -colonne de droite, alinéa 12; figure 43	1
X	US 4 849 991 A (ARNOLD HAMILTON W ET AL) 18 juillet 1989 (1989-07-18) colonne 2, ligne 35 - ligne 49 colonne 8, ligne 47 -colonne 9, ligne 53; figures 7,7A,7B	1

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *&* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

5 mars 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

23/03/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Helot, H

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demanc

nale No

PCT/FR 03/03064

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
US 2001043102	A1	22-11-2001	JP	2000132266 A	12-05-2000
US 4849991	A	18-07-1989	CA	1312389 C	05-01-1993